

# Improvement of Sn-Pb Solder by addition Ag Element

**Hanadi Abbas Hassan**

*Faculty of Materials Engineering, University of Babylon, Babylon, Iraq*

[Tree\\_ice99@yahoo.com](mailto:Tree_ice99@yahoo.com)

**Nabil Latif Al-Saffar**

**Haidar Abdul Hassan Al – Jubouri**

*Faculty of Materials Engineering, University of Babylon, Babylon, Iraq*

[Drhayderalgibibory@yahoo.com](mailto:Drhayderalgibibory@yahoo.com)

Submission date:- 30/1/2018	Acceptance date:- 22/4/2018	Publication date:- 6/8/2018
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

## Abstract

This research is devoted to study the soldering of Sn-Pb alloy on different part (copper, low carbon steel, brass) .the Sn-Pb alloy produced in different percentage of Pb and addition of Ag by casting, and show the effect on electrochemical, mechanical and electrical properties. The mechanical and physical properties includes microstructure, tensile, electrical conductivity and electrochemical have been achieved for this research through tests that include microstructure test, tensile test, tafel Potentiostatic, electrical conductivity test, X-Ray Fluorescent Analysis (XRF).

From results obtained in this study, a higher tensile strength was found for (Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5%) when its compared with other alloy, and the best result in soldering was with carbon steel because it has higher strength compared with brass and copper. The electrical conductivity result showed that the alloy (Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5%) has higher electrical conductivity.

**Keyword:** - Microstructure test, Electrical conductivity, Tensile test, X-Ray Fluorescents Analysis (XRF).

## تحسين بعض الخواص الميكانيكية لسبيكة لحام القصدير

هنادي عباس حسن

كلية هندسة المواد، جامعة بابل، بابل، العراق

[Tree\\_ice99@yahoo.com](mailto:Tree_ice99@yahoo.com)

حيدر عبد الحسن الجبوري

نبيل لطيف الصفار

كلية هندسة المواد، جامعة بابل، بابل، العراق

[Drhayderalgibibory@yahoo.com](mailto:Drhayderalgibibory@yahoo.com)

### الخلاصة

هذا البحث يختص بدراسة لحام سبائك قصدير رصاص على أجزاء مختلفة من الفولاذ واطى الكربون، سبيكة البراص والنحاس. اذ يتم دراسة الخواص الميكانيكية والكهروكيميائية وكذلك الخواص الكهربائية للسبيكة الناتجة من عملية الصب وبعد لحامها على الأجزاء المختلفة. وقد تم تحقيق أهداف هذا البحث من خلال الاختبارات التي شملت اختبار البنية المجهرية، اختبار الشد، اختبار تافل (فحص تيار ومقاومة التآكل)، اختبار التوصيلية الكهربائية. ومن النتائج التي تم الحصول عليها حيث كانت مقاومة الشد اعلى ما يمكن لسبيكة (97%Sn+1.5%Pb+1.5%Ag) عند مقارنتها مع السبائك أخر وكانت أفضل نتيجة لحام على قطعة الفولاذ واطى الكربون عند مقارنتها مع مقاومة الشد للملحومات الأخرى على سبيكة البراص او النحاس ونتائج التوصيل الكهربائي أيضا أظهرت سبيكة (97%Sn + 1.5%Pb + 1.5%Ag) اعلى توصيلية كهربائية، وذلك بسبب تأثير إضافة الفضة على سبيكة قصدير رصاص. وكانت السبيكة (60%Sn-40%Pb) أفضل ما يمكن عند اجراء فحص مقاومة التآكل وقد أجري الفحص في ماء البحر (sea water).

الكلمات المفتاحية: - اختبار البنية المجهرية، اختبار تافل، فحص الشد، الموصلية الكهربائية.

### المقدمة Introduction

يعد لحام القصدير "soldering" نظرية مهمة للربط في المركبات الإلكترونية. ويتأثر بالخواص الميكانيكية مثل الشد (tensile) ومقاومة القص (shear strength والالتواء (fatigue). [1]. يستعمل لحام القصدير "soldering" في عمليات الربط البدائي بين الرقائق (chip) والحزمة (package) أو بين الحزمة (package) والدائرة الكهربائية (circuit board) ورمزها (PCB)، كذلك يزيد الربط الميكانيكي الحراري بين المركبات واللوحات الكهربائية المزودة (printed circuit board). [2][3] وفي الدراسات الحديثة هنالك مسائل عميقة ونقاشات دقيقة حول استعمال لحام الصولدر بالرصاص الحر. (a lead-free solder) [4]. لا يعتبر لحام الكهرباء هو لحام من اجل الربط فقط وإنما يزيد من الميكانيكية والربط الحراري بين المركبات واللوحات المزودة بالكهرباء وهذه مهمة لاختيار اللحام المناسب من اجل معرفة الانصهار وخصائص الليونة والخواص الميكانيكية والتكلفة ويعتبر لحام القصدير- رصاص لحام شائع الاستعمال في سبائك التي تلحم الأجهزة

الالكترونية والتي تمتاز بانخفاض درجة حرارة اللحام فيها قد تصل إلى (183 °C). [4]. يستعمل لحام الرصاص عندما تكون درجة الليونة منخفضة نسبيا اذ يكون متوافق في لحام اللوحة الكهربائية (PCB) وهناك حقيقة معروفة أن الرصاص مادم سامه وتؤثر على البشر وعلى صحة الكائنات الحية الأخرى. [5]. ومن اجل تحسين خواص سبائك (القصدير-الرصاص) ثم إضافة بعض العناصر لتحسين الخواص ومن هذه العناصر هو الحديد (Fe) والنحاس (Cu) والنيكل (Ni) والفضة (Ag). [6]. عند إضافة النيكل إلى سبيكة القصدير-رصاص يعمل على تحسين الخواص الميكانيكية خصوصا مقاومه الأكسدة (Oxidation resistance) فضلا عن ذلك أنه يعمل على تحسين خواص الليونة للسبيكة ويجعل من منطقة اللحام (Soldered joint) قوية ومقاومة للظروف. [7]

يبين الجدول التالي الخواص لبعض سبائك القصدير - رصاص. [8]

Solder (wt. %)	Tm (°C)	Advantages	Disadvantages
37Pb-63Sn	183	overall good properties	structural coarsening; prone to creep
58Bi-42Sn	139	good fluidity	strain rate sensitivity; poor wetting
96.5Sn-3.5Ag	221	good strength, creep resistance	melting point slightly too high
49Sn-51In	120	good wetting	melting point too low; poor ductility; expensive
91Sn-9Zn	199	good strength	poor corrosion resistance and wetting
95Sn-5Sb	245	creep resistant	melting point too high
80Au-20Sn	278	creep resistant, corrosion resistant	hard and brittle; melting point too high; expensive

الجدول رقم (1)

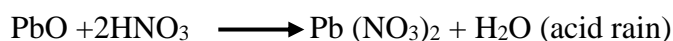
اللحام الحر بالرصاص في الحقيقة يعد مسألة حرجية والدراسات الحديثة كونها تشير الى أن معدن الرصاص

عالي السمية حيث انه يشكل خطر كبير عند استنشاق أبخرته [9]

والجدول التالي يمثل مدى ذوبانية مركبات الرصاص في الماء [9]

Pb compounds	Solubility in water ( g/L ) Temperature (° C )		
	10.0	20.0	30.0
PbSO <sub>4</sub>	0.035	0.041	-
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	485.0	565.0	1150.0
PbCl	6.7	9.9	26.2

جدول رقم (2)



**القصدير Sn: The Element Tin**:- قدرة عنصر القصدير على الانتشار والليونة واسعة المدى ويستعمل معه مساعدات للصهر ويصبح المكون الرئيس في كثير من سبائك اللحام المستعملة في التطبيقات الالكترونية (Electronic applications)، درجة حرارة انصهار القصدير هي ( $231^{\circ}\text{C}$ ) ويوجد بشكلين مختلفين من حيث التركيب البلوري في الحالة الصلبة وهي الأبيض او ما يدعى ( $\beta$ -tin) والذي يكون التركيب البلوري مكعب متمركز البلورة (body centered tetragonal crystal structure). ويكون هذا النوع مستقر في درجة حرارة الغرفة. أما النوع الثاني فيكون لونه رمادي او يدعى ( $\alpha$ -tin) ويكون التركيب البلوري له مكعب متمركز بالوجه (cubic crystal structure). الديناميكية الحرارية تكون مستقرة تحت درجة ( $13^{\circ}\text{C}$ ). التحول من ( $\beta$ -tin) الى ( $\alpha$ -tin) يشار إليه بالقصدير الضار (tin pest) ويحدث عندما درجة الحرارة تنخفض أسفل ( $13^{\circ}\text{C}$ ). وتكون المحصلة زيادة كبيرة بالحجم وبذلك يحدث تشقق في التركيب (structure). [10]

التمدد الحراري في القصدير يكون بسبب التباين (isotropic) عندما يتعرض القصدير الى التدوير الحراري المتكرر سوف يتعرض الى التشوه اللدن وتحدث تشققات في الحدود البلورية وهذا التدوير الحراري يحدث او يلاحظ في الدورات الحرارية على نطاق يكون صغير ضمن ( $30-75^{\circ}\text{C}$ ) الالتواء الحراري (thermal fatigue) يحدث في لحام القصدير أو في اللحام الذي يكون مشبع بالقصدير حتى عندما يكون هنالك انفعال ميكانيكي (mechanical strain). [11]

### **\*\* وظيفة عناصر السبك**

تقدم العناصر المختلفة دور مختلف في لحام السبائك. [12]

- **الانتيمون (Antimony (Sb)** بإضافته تزداد المقاومة دون التأثير على الليونة. ويجب تجنب اضافته على الزنك او الكاديوم والمعادن المطيلية، لأن اللحام الناتج يكون هش.
- **البزموت (Bismuth (Bi)** عند اضافته يقلل درجة الانصهار (melting point). يحسن الليونة (wetting). السبائك التي تكون حاوية على البزموت بأعلى من (47%) فأنها تعاني من تمدد اثناء التبريد وعليه يمكن ان يستعمل في حاله عدم تطابق التمدد الحراري. البزموت يقلل من نمو القصدير ولكن سعره مرتفع ويكون محدود الاتجاه.
- **النحاس (Copper (Cu)** يخفض النحاس نقطة الانصهار (melting point) ويحسن مقاومه الدورات الحرارية للالتواء (resistance to thermal cyclic fatigue)، وكذلك يحسن خواص الليونة (wetting properties) في المعدن المنصهر (molten solder) كذلك يعمل النحاس على التقليل من نشاط القصدير بنسبة قليلة.
- **الفضة (Silver (Ag)** تعزز الفضة المقاومة الميكانيكية لكن تقلل من المطيلية للرصاص. وفي حالة غياب الرصاص تحسن مقاومة الالتواء في الدورات الحرارية.

### الجزء العملي Work Experimental

تم اختيار ثلاث مواد وهي (القصدير Sn والرصاص Pb والقضة Ag) والسبيكة المراد دراسة تحسين خواصها هي سبيكة (60%Sn-40%Pb). وغيّرت نسب السبيكة

فأصبح لدينا سبيكة ثانية (85% sn – 15% pb.) وبعد ذلك تم إضافة عنصر الفضة  
وظهرت لدينا سبيكة ثالثة (97%Sn-1.5. % Ag -1.5. % pb).

#### **Chemical compositions of the solder material (all in wt. %)**

Sample	Composition	Sn	Ag	Pb
A	Sn-pb	60	-	40
B	Sn-pb	85	-	15
C	Sn-Ag-pb	97	1.5	1.5

تم تحضير السبائك في مختبر الهندسة في كلية هندسة المواد/ لجامعة بابل اذ تم تسخين المواد داخل بودقة الصهر وبعد ذلك خلطها بالمكسر وهي ذراع طويلة مصنوعة من السيراميك تستعمل في الخلط وذلك لمجانسة المواد عند صهرها داخل الفرن بعد ذلك تم سبك السبائك بال قالب وبعد انجماد السبيكة تم اخذ النماذج ودرفلتها للحصول على السبائك المطلوبة والتي استعملت كمادة لحام لربط وصلات متكونة من ثلاثة أنواع وهي (النحاس والفولاذ منخفض الكربون والبراص).





شكل يوضح مرحل تحضير السبائك ودرفلتها بجهاز الدرفلة على البارد

**طريقة اللحام The method of welding** تم تحضير حافتي الصفيحتين المراد لحامهما وتنظيفها جيدا، استعمال عند اللحام وصلة تقابليه والمسافة (1mm) تثبيت القطعتين بالماسكات وذلك لضمان دقة الابعاد بعد ذلك استعمال الكاوية الظاهرة بالصورة ،يجب التأكد من نظافة رأس الكاوية من المواد الملحومة بيها سابقا لضمان التقليل من نسبة الشوائب ونبدأ بالحام من الأعلى الى الأسفل كما موضح بالصور ونستخدم السبائك التي تم تحضيرها في عملية اللحام :

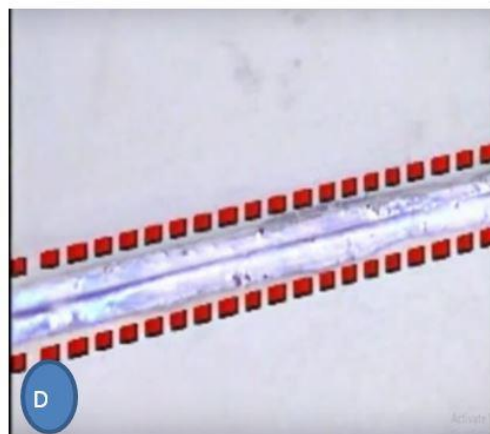


تثبيت القطعتين بالماسكات



البدء بعملية اللحام





المراحل النهائية لعملية اللحام

[ درزة اللحام النهائية

خطوات عملية اللحام

### Electrical Conductivity الموصلية الكهربائية

$$\sigma v = \frac{1}{\rho v} = \frac{L}{R * A}$$

Where

Volumetric conductivity (Ohm.Cm)<sup>-1</sup>

التوصيل الحجمي  $\sigma v$

Volumetric resistivity

المقاومة الحجمية  $\rho v$

thickness (cm)

السماك  $L$

area of the specimen

مساحة العينة  $A$

Volumetric resistance (Ohm)

نصف القطر  $R$

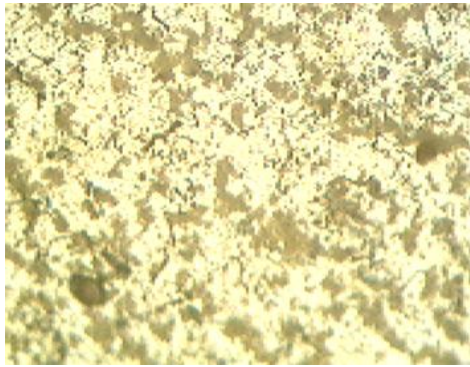
### نتائج التحليل الكيميائي Chemical composition analysis

Packaging sections using a X-Ray Fluorescence Analysis (XRF).

Sample	Pb	Sn	Ag
A	47.73	51.95	-
B	0.21	95.45	1.28
C	15.17	83.68	-

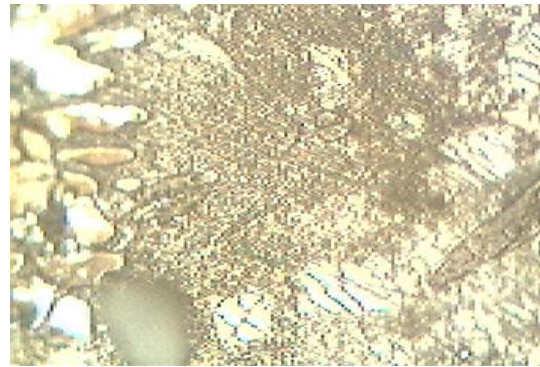
الجدول التالي يمثل التحليل الكيميائي للسبيكة وكميات المواد المستخدمة في إنتاج السبيكة.

- البنية المجهرية Microstructure



**A**

(Eutectic with L. C.S. at interface)



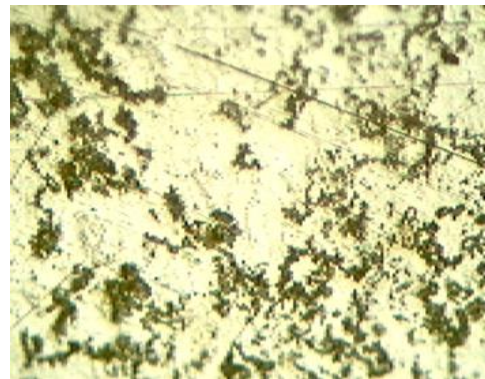
**B**

(Filler with L. C.S. at interface)



**C**

(Eutectic with Brass at interface)



**D**

(Filler at interface).

optical microstructure for sample soldering (400X), a( Eutectic with L. C.S. at interface), b(Filler with L. C.S. at interface), c( Eutectic with Brass at interface), d( Filler at interface).

#### 4.1 Mechanical Properties (tensile strength) مقاومة الشد

Samples	Description	Tensile Test (MPa)	Average
1	Sn60%+Pb40% (Brass)	155.63	155.27
		157.86	
		152.33	
2	Sn60%+Pb40% (Cu)	188.77	187.78
		189.65	
		184.93	
3	Sn60%+Pb40% (L.C.S.)	197.64	201.04
		201.84	
		203.66	
4	Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5% (Brass)	203.03	203.85
		207.65	
		200.88	
5	Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5% (Cu)	229.58	229.85
		231.74	



		228.23	
6	Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5% (L.C.S.)	245.80	248.97
		251.73	
		249.39	
7	Sn85%+Pb15% (Brass)	102.34	106.55
		105.87	
		111.44	
8	Sn85%+Pb15% (Cu)	114.79	119.38
		119.04	
		124.33	
9	Sn85%+Pb15% (C.S.)	132.75	138.10
		138.93	
		142.63	

جدول رقم (4)

• نلاحظ من خلال نتائج الفحص المختبري لمقاومة الشد للعينات. ان اعلى مقاومة شد ظهرت في العينة المتكونة من (Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5%) والملحومة على قطعة الحديد المنخفض الكربون (L.C.S) وذلك بسبب إضافة عنصر الفضة الذي يزيد من صلابة منطقة اللحام.

### الموصلية الحرارية Electrical Conductivity

sample	Description	$\rho_v$ (ohm)	$\sigma_v$ (Ohm.Cm) <sup>-1</sup>
A	Sn60%+Pb40%	2861.56	0.000349
B	Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5%	1524.91	0.000655
C	Sn85%+Pb15%	2127.34	0.000470

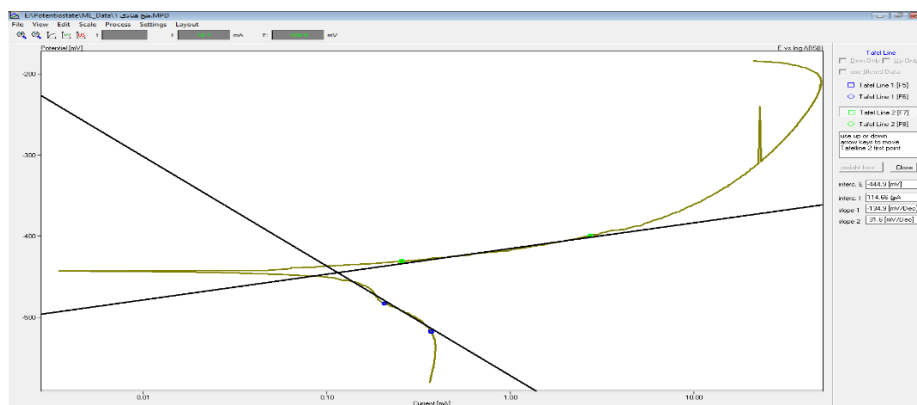
نلاحظ ان اعلى قيمة للموصلية الحرارية كانت للسبيكة (B) وذلك بسبب إضافة كمية معينة من عنصر الفضة الى السبيكة مما أدى الى زيادة موصلية السبيكة. بسبب قابلية عنصر الفضة العالية على التوصيل.

### اختبار التآكل (تافل) Corrosion test (Polarization tests)

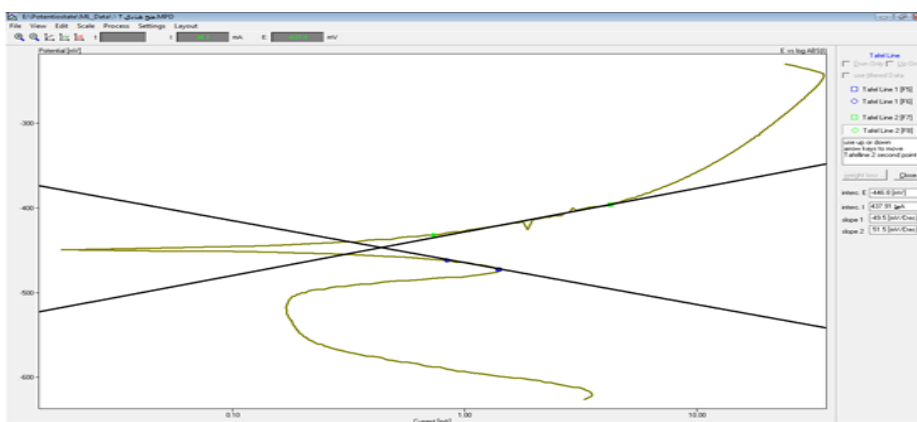
Illustrates corrosion parameters (E corr., I corr.) in sea solution.

sample	Description	I corr (μA)	E corr (mV)
A	Sn60%+Pb40%	1.12	-269
B	Sn97%+Pb1.5%+Ag1.5%	1.14	-444.9
C	Sn85%+Pb15%	4.27	-446.8

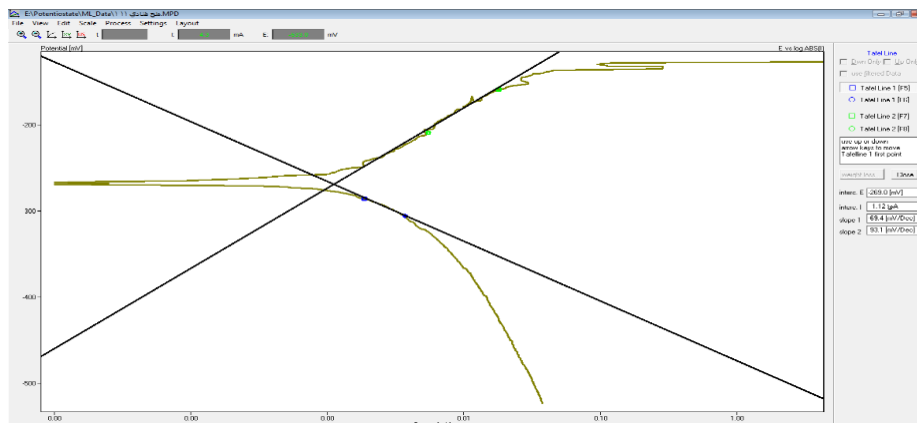
### Potentiostatic Polarization curve of sample (A) in seawater. Fig (1)



### Potentiostatic Polarization curve of sample (B) in sea water fig (2)



### Potentiostatic Polarization curve of sample(C) in sea water fig (3)



- تزداد مقاومة التآكل كلما قلت فعالية عنصر القصدير (Sn). ونلاحظ ان اعلى مقاومة للتآكل ظهرت في السبيكة (C).

## الاستنتاجات: Conclusion:

- إضافة عنصر الفضة (Ag) الى سبيكة (Sn-Pp) يحسن مقاومة الشد.
- مقاومة الشد في لحام الصولدر على صفيحة الحديد واطى الكاربون اعلى قيمة من اللحام على صفيحة البراص والنحاس.
- إضافة عنصر الفضة (Ag) الى سبيكة (Sn-Pp) يزيد من التوصيلية الحرارية.
- التحليل الكيميائي يظهر ان نسبة الرصاص (Pp) تخفض من مقاومة التاكل.

## Reference

- [1] M. Abtew and G. Selvaduray, 'Lead-free Solders in Microelectronics', Mater. Sci. and Eng. Vol.27, pp.95-141, 2000.
- [2] M. N. Islam 'Study on Interfacial Reactions in Ball-grid-array (BGA) Solder Joints for Advanced Integrated Circuit (IC) Packaging', Ph.D. Thesis, City University intermetallic compound and its effect on shear strength of LCCC SMT solder joints' Mat. of Hong Kong, Hong Kong, 2005.
- [3] Y. C. Chan, A. C. K. So, and J. K. L. Lai 'Growth Kinetics studies of Cu- Sn Sci. Eng. B, Vol.55, pp 5-13, 1998.
- [4] D.N. Binh, 'Investigations on the Properties of Sn-8Zn-3Bi Lead-free and Sn-37Pb Eutectic Solder Alloys', Thesis of Master of Science, School of Materials and Mineral Resources Engineering, 2005.
- [5] For Various Tool Geometries during the Friction Stir Spot Welding Process', J. Electron. Mater. Vol. 28 No.11, pp. 1209–1215, 1999.
- [6] S. Choi, F. Guo, J.P. Lucas and K.N. Subramanian, 'A Review: Influence of nanoparticles reinforced on Solder Alloy, Sold'. Surf. Mount Technol. Vol.13 No.1, pp. 7– 18.
- [7] S. Choi, F. Guo, J. P. Lucas and K. N. Subramanian, 'A Review: Influence of nanoparticles reinforced on Solder Alloy, Sold'. Surf. Mount Technol. Vol.13 No.1, pp. 7– 18.
- [8] A. A. El-Delay, Y. Swilema, M. H. Makledb, M. G. El-Shaarawyb and A. M. Abdrabohb 'Thermal and mechanical properties of Sn-Zn-Bi lead-free solder alloys', Journal of Alloys and Compounds, Vol. 484, , pp. 134–142, 1990.
- [9] ASM International, Electronic Material Handbook, 1 Materials Park, OH, 1989.
- [10] ASM International, Electronic Material Handbook, 1, Materials Park, OH, 1989.
- [11] K. L. Lin, L. H. Wen and T. P. Liu, 'Microstructure changes in Sn-3.5Ag solder alloy during creep', Journal of Electronic Materials, Vol. 27, p. 97, 2004.
- [12] M. Mc Cormack, S. Jin, H.S. Chen and D.A. Machusak, 'The Observation and Simulation of Sn-Ag-Cu solder solification in chip-scale packaging', Journal of Electronic Materials. Vol. 23, p.687, 1994.